

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Плазмохимический синтез наноразмерных порошков оксида иттрия в плазме ВЧФ-разряда

УДК 66.011:533.9.091:537.5:546.64-026.771-31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Головков Никита Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Новосёлов И.Ю.	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.
P2	Готовность к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов.
P3	Способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области.
P4	Способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования
P5	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.
P6	Способность провести расчет, концептуальную и проектную проработку современных физических установок и приборов
P7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
P8	Способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам.
P9	Способность на практике применять знание основных понятий в Области интеллектуальной собственности, прав авторов, предприятия-работодателя, патента обладателя, основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P10	Способность проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, официальной регистрации компьютерных программ и баз данных

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

П.Н. Бычков
« ____ » _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Головкову Никите Игоревичу

Тема работы:

Плазмохимический синтез наноразмерных порошков оксида иттрия в плазме ВЧФ-разряда	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	21.02.2019 №1383/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать влияние параметров воздушной плазмы ВЧФ-разряда на синтез оксида иттрия из нитратных растворов. Экспериментально получить образцы порошков и исследовать их физико-химические свойства.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1. Обзор и анализ физических методов получения наноразмерных порошков 2. Подготовка экспериментального плазменного стенда 3. Подготовка прекурсоров и проведение экспериментов с получением опытных партий порошков оксида иттрия 4. Исследование и анализ свойств порошков оксида иттрия, синтезированного в плазме ВЧФ-разряда 5. Экономическое обоснование проведения НИР 6. Выводы по работе. Заключение

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В.Ю. Конотопский
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.04.2019 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	И.Ю. Новоселов			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Н.И. Головков		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Головков Никита Игоревич

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1.Стоимость расходных материалов 2.Тариф на электроэнергию 3.Должностные оклады исполнителей
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1.Ставки НДС и социального налога

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.Выполнить
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1.Структура работ в рамках научного исследования; 2.Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3.Бюджет научно - технического исследования (нти).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1.Выполнить

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Конотопский В.Ю.	к. ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Головков Н.И.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5Д	Головков Н.И.

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды: микроклимат, шум, вибрация, освещение, электромагнитные поля и ионизирующее излучение от ПЭВМ, вредные вещества; – опасных проявлений факторов производственной среды :электрического тока, пожарная и взрывная безопасность;
<i>Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – требования охраны труда при работе на ВЧФ-плазмотроне; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность; – химическая безопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).
<i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (причины, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5Д	Головков Н.И.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 69 страниц, 14 рис., 11 табл., 16 источников, 31 формула, 2 прил.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, оксид иттрия, нанопорошок.

Объектом исследования является процесс плазмохимического синтеза нанодисперсного порошка оксида иттрия в условиях воздушной плазмы высокочастотного разряда.

Цель работы – получение нанодисперсного порошка оксида иттрия методом плазмохимического синтеза и исследование физико-химических свойств полученного порошка.

В процессе исследования был получен нанодисперсный порошок оксида иттрия в условиях воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда, были проведены СЭМ, ПЭМ, РФА и БЭТ-анализы для изучения физико-химических свойств.

В результате исследования получен нанодисперсный порошок оксида иттрия. Принадлежность полученного порошка к классу нанодисперсных подтверждена результатами анализов.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы в электронике, стоматологии, при изготовлении керамики, микроволновых фильтров и для покрытия сплавов металлов.

В будущем планируется продолжить исследования по созданию и совершенствованию плазменных установок для промышленного производства нанодисперсных порошков оксида иттрия и других редких и рассеянных металлов.

Определения

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов).

ВЧФ-плазмотрон – устройство для генерирования потоков воздушной неравновесной плазмы.

Плазмохимический синтез – химический метод получения высокодисперсных порошков нитридов, карбидов, боридов и оксидов, заключающийся в протекании реакции в низкотемпературной плазме вдали от равновесия при высокой скорости образования.

Нанодисперсный порошок – порошок, размер всех частиц которого менее 100 нм.

Сканирующая электронная микроскопия – способ получения изображения с высоким пространственным разрешением, основанное на принципе взаимодействия электронного пучка с исследуемым объектом.

Просвечивающая электронная микроскопия – способ получения изображения ультратонкого образца путём пропускания через него пучка электронов.

Рентгенофазовый анализ – метод исследования структурных характеристик материала при помощи дифракции рентгеновских лучей.

БЭТ-анализ – метод математического описания физической адсорбции, основанный на теории полимолекулярной (многослойной) адсорбции.

Обозначения и сокращения

БЭТ–анализ – метод, предложенный Брунауэром, Эммитом и Тэллером.

ВЧФ–разряд – высокочастотный факельный разряд.

ВЧФ–плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон.

ВЧГ – высокочастотный генератор.

ВСК – водно-солевая композиция.

ВСОК – водно-солеорганическая композиция.

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия.

РФА – рентгенофазовый анализ.

СНР – смесевой нитратный раствор

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия.

Содержание

Реферат	7
Определения	8
Обозначения и сокращения	9
Введение.....	12
1 Обзор литературы	14
1.1 Свойства и применение оксида иттрия	14
1.1 Особенности наноструктурного состояния вещества.....	15
1.3 Методы получения оксида иттрия	16
1.3.1 Золь-гель	16
1.3.4 Лазерная сублимация.	18
1.3.5 Метод химического осаждения.....	18
1.3.5 Метод Печини	19
1.3.6 Метод термического разложения соли.....	19
1.3.7 Гидротермальный метод	21
1.3.8 Плазмохимический синтез.....	22
2 Экспериментальная часть	23
2.1 Описание экспериментальной установки на базе ВЧФплазмотрона. ...	23
2.2 Расчет расхода воздуха через газоход и ВЧФплазмотрон.	25
2.3 Расчет расхода газа через реактор.	26
2.4 Исследование режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ- плазмотрона	27
2.5 Плазмохимическая переработка ВСК.....	30
3 Исследование физико-химических свойств порошков.....	31
3.1 Рентгенофазовый анализ.....	31
3.2 Сканирующая электронная микроскопия	32
3.3 Просвечивающая электронная микроскопия.....	33
3.4 Распределение частиц порошка по размерам	34
3.5 БЭТ-анализ	35
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	36
4.1 Организация и планирование работ.....	36

4.2	Продолжительность этапов работ	37
4.3	Расчет накопления готовности проекта.....	40
4.4	Расчет сметы на выполнение проекта	41
4.4.1	Расчет затрат на материалы.....	42
4.4.2	Расчет заработной платы	43
4.4.3	Расчет затрат на социальный налог	44
4.4.4	Расчет затрат на электроэнергию.....	44
4.4.5	Расчет амортизационных расходов	45
4.4.6	Расчет прочих расходов	46
4.4.7	Расчет прибыли.....	47
4.4.8	Расчет НДС.....	47
4.4.9	Цена разработки.....	47
4.5	Оценка экономической эффективности проекта.....	47
5	Социальная ответственность	48
5.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов	49
5.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ	51
5.2.1	Организационные мероприятия	51
5.2.2	Технические мероприятия	51
5.2.3	Условия безопасности работы.....	54
5.3	Электробезопасность.....	57
5.4	Пожарная и взрывная безопасность.....	60
	Выводы	63
	Заключение	64
	Список публикаций.....	65
	Список использованных источников	67
	Приложение А	69

Введение

Одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения являются наноматериалы и нанотехнологии.

Термин наноматериалы обычно относится к дисперсным и массивным материалам, которые содержат структурные элементы (зерна, кристаллиты, блоки, кластеры), геометрические размеры которых по меньшей мере в одном измерении не превышают 100 нм и имеют качественно новые свойства, функциональные и рабочие свойства. Нанотехнологии включают технологии, позволяющие создавать и модифицировать наноматериалы контролируемым образом и интегрировать их в полнофункциональные, более крупные системы.

Разработка современных эффективных технологий производства дисперсных металлооксидных материалов является актуальной задачей, поскольку области применения этой группы материалов быстро расширяются в течение последних 20 лет. Дисперсные оксиды металлов, таких как титан, цирконий, церий и иттрий, играют очень важную роль в производстве материалов для высокотехнологичных областей потребления, таких как производство катализаторов, люминофоров, промышленной керамики, высококачественного стекла, волоконной оптики, лазеров, пленок и фотографического оборудования. Кроме того, они широко используются в лакокрасочной промышленности, а также в целлюлозно-бумажной промышленности. Ввиду постоянно растущего спроса на нанодисперсные неорганические оксиды с рядом необходимых свойств, проблема синтеза и разработки эффективных универсальных промышленных технологий их получения в настоящее время приобретает особую важность.

Одним из наиболее эффективных способов получения нанодисперсных оксидных порошков является их получение в условиях низкой температуры плазмы. Плазма - полностью или частично ионизированный газ. Плазма состоит из множества компонентов: нейтральных молекул и атомов в основном состоянии и возбужденных состояний, положительно и отрицательно заряженных ионов, электронов. Самый простой способ

получения низкотемпературной плазмы - это термическая ионизация газа при электрических разрядах. Температура низкотемпературной плазмы одноатомных газов обычно превышает 13000 К, двухатомной плазмы - 8000 К. Объемные процессы, такие как возбуждение, ионизация, диссоциация, рекомбинация, дезактивация частиц и процессы электронной эмиссии с поверхности катода, используются для создания и поддержания низкотемпературной плазмы.

Из-за высокой температуры и электрической проводимости низкотемпературная плазма оказывает чрезвычайно сильное энергетическое воздействие на обрабатываемые вещества и действует как хладагент и реагент.

В отличие от известных охлаждающих жидкостей, плазма обладает рядом специфических свойств, что значительно расширяет ее технологические возможности. Например, вы можете создать неравновесную плазму, в которой энергия электронов намного выше энергии ионов, а разница между их температурами составляет несколько тысяч градусов. Это открывает новые способы проведения химических реакций. Следует учитывать такие особенности низкотемпературной плазмы, как наличие электрических и магнитных полей, а также световое излучение.

С помощью плазмы вы можете разбить самое сильное химическое соединение на атомы, создать тонкие пленки на поверхности материалов со специальными (например, полупроводниковыми) свойствами, огнеупорных, термостойких, износостойких и других покрытий. Использование низкотемпературной плазмы особенно перспективно для осуществления химических реакций, в которых:

- равновесие смещено в сторону высоких температур;
- с повышением температуры резко возрастают их скорости;
- высокий выход целевых продуктов достигается в неравновесных условиях;
- высокие требования к чистоте получаемых продуктов.

Указанные особенности протекания плазменных процессов обуславливают необходимость изучения условий появления заряженных частиц, элементарных процессов в плазме, условий генерации низкотемпературной плазмы и диагностики потоков низкотемпературной плазмы [1].

1 Обзор литературы

1.1 Свойства и применение оксида иттрия

Оксид иттрия (Y_2O_3) – бинарное неорганическое соединение металла иттрия и кислорода, бесцветные (белые) кристаллы, нерастворимые в воде, вид которых представлен на рисунке 1.1 Химические и физические свойства оксида иттрия приведены в таблице 1.

Таблица 1.1

Молярная масса, г/моль	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Энтальпия образования, кДж/моль	Растворимость в воде, кг/100 мл
225,81	5,046	2410	4300	–1905	0,00018



Рисунок 1.1 – Порошок оксида иттрия

Поскольку оксид иттрия является термодинамически стабильным оксидом, он отлично подходит для экстремальных условий эксплуатации. Он обладает общими характеристиками керамики, которых нет в металлических или органических материалах, включая высокую твердость (628 МПа по

Бринеллю), высокую механическую прочность, высокую температурную стабильность, химическую и эрозионную стойкость, низкую электропроводность.

Оксид иттрия также используется для производства железо-иттриевых гранатов, которые являются очень эффективными микроволновыми фильтрами. Y_2O_3 используется в качестве покрытия при производстве металлов, а также для стабилизации диоксида циркония в безметалловой стоматологической керамике.

Нанодисперсный оксид иттрия способен устранять дефекты, образующиеся непосредственно в кристаллических решетках металлов и сплавов. По этой причине он широко применяется для покрытия нержавеющей стали и легированных сплавов. Кроме того, оксид иттрия используется в производстве ферритов иттрия, используемых в электронике, слуховых аппаратах, ячейках памяти.

1.1 Особенности наноструктурного состояния вещества

Особенности наноструктурного (ультрадисперсного) состояния вещества наиболее заметны при изучении разделенных наночастиц, когда их размер можно считать, как составным, так и температурным.

Особенности свойств нанодисперсных материалов можно разделить на три подгруппы:

1. Несправедливость законов классической физики из-за очень маленьких размеров отдельных частиц.
2. Существенное увеличение площади удельной поверхности частиц.
3. Трудоемкие условия синтеза.

При изучении свойств разделенных частиц наиболее выражено проявляются особенности наноструктурного состояния вещества.

Особенности структуры наноматериалов являются причиной особенности свойств этих материалов. Из-за уникальности этих свойств

наноматериалы находят широкое практическое применение на сегодняшний день. Особенности этих свойств формируются двумя факторами: свойствами отдельных частиц и взаимодействием, возникающем между этими частицами.

На свойства отдельных частиц влияют непосредственно атомное строение, фазовый и элемент состав, размер самих частиц и их форма. Взаимодействие между частицами нанодисперсных композиций в свою очередь обусловлено поверхностной энергией частиц и их размером.

Анализируя множество аналитических и экспериментальных работ, можно прийти к выводу, что особенности свойств наноструктурного состояния вещества проявляются следующим образом:

1. Оптические: отличие спектров поглощения и излучения.
2. Электромагнитные: супермагнетизм, полупроводниковая проводимость, высокая магнеторезистивность.
3. Механические: пластичность, которая сочетается с высокой твердостью из-за отсутствия протяженной дефектности.
4. Химические: повышенная растворимость, снижение температуры протекания реакций [2].

1.3 Методы получения оксида иттрия

Существует множество физических и химических методов получения наноразмерных оксидных порошков, в частности оксида иттрия: золь-гель метод, метод химического осаждения, гидротермальный метод, метод Печини, плазмохимический метод и др.

1.3.1 Золь-гель

В настоящее время самым распространенным методом получения нанодисперсных порошков оксида иттрия является осадочная технология, также известная как золь-гель метод. Данный метод дает возможность получать конечный продукт с максимальной эффективностью контроля его

свойств, при этом данный метод не требует высоких энергетических затрат и демонстрирует достаточную производительность.

Данный метод также востребован при производстве катализаторов, неорганических сорбентов, стекол, керамики с определенными свойствами (оптические, электрические), тонких пленок и материалов и других нанопорошков.

Стадии протекания золь-гель процесса:

1. Формирование продукта и его получение в виде коллоидного раствора – золя.
2. Повышение объемной концентрации и поверхности дисперсной фазы.
3. Удаление дисперсионной среды, вследствие чего возникают фазовые контакты. После последующей сушки, во время которой гель может уплотниться и измениться структурно, гель превращается в ксерогель.

Схематично процесс осуществления золь-гель метода представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Схема протекания золь-гель процесса

Данный метод позволяет получать нанопорошки оксида иттрия и других редкоземельных металлов с высокой чистотой и однородностью частиц. К недостаткам метода следует отнести аппаратное оформление золь-гель метода, что делает его достаточно трудоемким, а также высокую продолжительность процесса [3].

1.3.4 Лазерная сублимация.

В основе метода лазерной сублимации лежит процесс непосредственного перевода вещества из твердого в газообразное состояние под воздействием лазерного излучения. Для получения нанопорошка оксида иттрия используют углекислотный лазер мощностью 0,5 кВт, что позволяет получать нанодисперсный порошок с размером частиц 20 нм. Схема процесса лазерной сублимации представлена на рисунке 1.3.

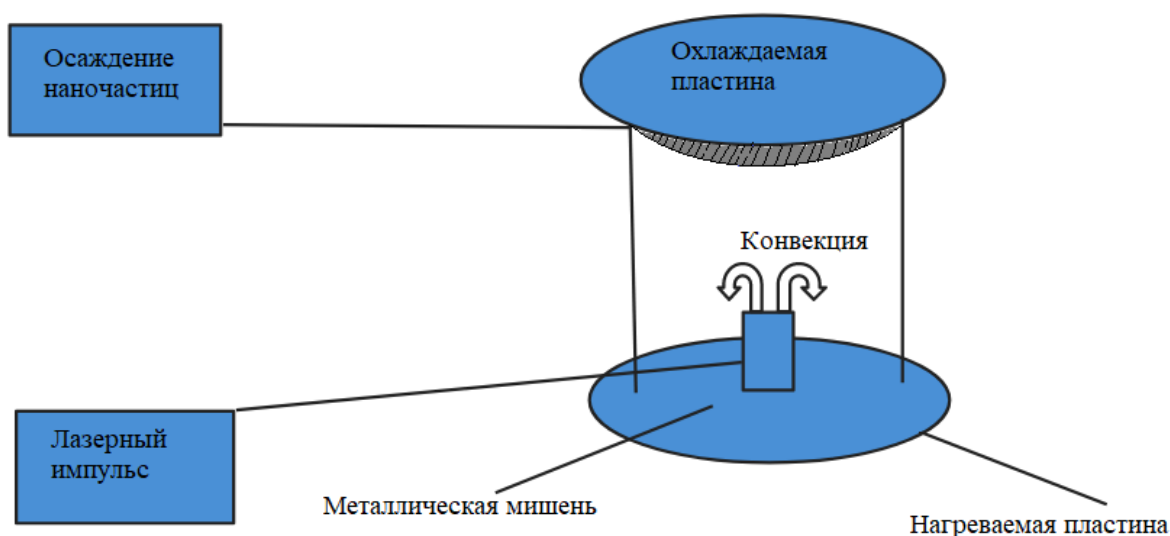


Рисунок 1.3 Схема процесса лазерной сублимации

Главным преимуществом данного метода является высокая чистота порошка и низкая агломерация частиц. Но при этом метод лазерной сублимации демонстрирует крайне низкую производительность (до 25 г/ч).

1.3.5 Метод химического осаждения

Более простой и распространенный метод получения наноразмерного оксида иттрия – это метод осаждения из растворов. Процесс проходит в две стадии, на первой стадии получают нерастворимую соль, на второй стадии ее разлагают при определенной температуре.

Методы химического осаждения заключаются в совместном осаждении (соосаждении) компонентов продукта из раствора в виде

нерастворимых солей или гидроксидов. Наиболее распространены три типа химического осаждения – гидроксидный, оксалатный и карбонатный методы.

Данный метод является одним из самых распространенных. Он отличается своей доступностью и относительно простотой, но при получении наночастиц данным методом наблюдается большой их разброс ~~частиц~~ по размеру.

1.3.5 Метод Печини

Для получения нанодисперсных порошков оксида иттрия также используется метод Печини или цитратный метод. Суть данного способа состоит в реакции получения металлцитратного комплекса, которая осуществляется путем добавления солей лимонной кислоты $((\text{HOOCCH}_2)_2\text{C}(\text{OH})\text{COOH})$ к смеси солей европия и иттрия. В полученный металлцитратный комплекс добавляют этиленгликоль ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$) и затем данный комплекс прокаливают. При достижении температуры в интервале 750-1100 °С начинается образование нанодисперсных частиц оксида иттрия, легированных европием.

Основными преимуществами данного метода являются возможность приготовления сложных составов, высокая однородность получаемого продукта, возможность контролирования стехиометрии продуктов. К недостаткам относится необходимость большого количества реагентов и малая производительность метода.

1.3.6 Метод термического разложения соли

Метод термического разложения основан на том факте, что любое химическое соединение разлагается на составляющие его элементы при нагревании до более или менее высоких температур. Процесс проводится в условиях высокого вакуума в сосуде, который представляет собой стеклянную колбу или металлический стакан, в который соединение загружается вдоль

стенок сосуда. Колба или мензурка нагревается до необходимой температуры и перерастает при перекачивании в вакуум [4].

В работе [5] был получен нанодисперсный порошок оксида иттрия вышеизложенным методом. В данной работе для разложения использовалась соль, которая была образована в ходе осаждения исходных растворов нитратов ^{60}Nd и ^{39}Y с помощью гидрокарбоната аммония (NH_4HCO_3).

В работе можно увидеть сравнение линейного и нелинейного методов отжига и их влияние на микроструктуру порошка. В результате, был сделан вывод, что более узкое распределение по размерам, меньшую степень агломерации и низкую температуру спекания в процессе формирования керамики, можно получать при нелинейном температурном воздействии.

В статье [6] нанокристаллический оксид иттрия Y_2O_3 был получен с помощью термического разложения осадка при смешивании аммиака и раствора нитратов металла. При отжиге с температурой 1100°C образовались частицы оксида иттрия с размером 67 нм. Оксид иттрия получают разложением гидрокарбоната иттрия, который был получен осаждением из водных растворов иттрия мочевиной.

В [7] установлено, что в результате отжига при температуре 950°C в течение суток образуется однофазный порошок оксида иттрия. Первичные частицы размером 22 – 29 нм агломерируются в частицы 200 нм.

В работе [8] оксид иттрия получили прокаливанием стеарата иттрия. Достигнута хорошая диспергированность за счет отсутствия водородных связей между отдельными частицами, т.к. отсутствовала водная среда в процессе получения оксида.

Метод термического разложения демонстрирует высокую чистоту полученных порошков, но его недостатком является трудоемкость процесса контролирования размера получаемых частиц.

1.3.7 Гидротермальный метод

Одним из методов получения оксида иттрия является гидротермальный метод. Данный метод основан на способности растворов при высоких значениях температуры (700 К) и давления (80 Мпа) растворять вещества, которые являются нерастворимыми при нормальных условиях.

При использовании замкнутой системы и контроле состава среды могут быть созданы условия окисления и восстановления. Это позволяет синтезировать кристаллы, рост которых другими методами затруднен или невозможен.

Гидротермальные растворы имеют низкую вязкость, а их плотность сильно зависит от температуры. Это приводит к быстрой конвекции и очень эффективному переносу растворенного вещества, благодаря чему кристаллы быстро растут. Недостатки гидротермального метода сводятся в основном к строгим правилам безопасности, обусловленным использованием оборудования, работающего при высоких давлениях, в сочетании с нагревом. Ряд специальных мер должен быть применен против опасности взрыва. Помимо прочности, сосуд должен обладать химической инертностью в щелочных и кислых средах, что требует использования дорогих материалов (платина, золото и серебро). К недостаткам также относится длительность процесса и невозможность его наблюдения. [8].

В одной из работ [9]. гидроксид иттрия подвергался обработке в автоклаве при температуре 200–270 °С при разном времени. В зависимости от температуры процесса, менялась форма частиц. При температуре менее 200 °С образовывались сферические частицы, более 200 °С – частицы в форме иголок [9].

Доступность является основным преимуществом данного метода, но требует сложного и дорогостоящего оборудования, необходимого для его осуществления.

1.3.8 Плазмохимический синтез

Процесс получения нанопорошков оксидов редких и рассеянных металлов методом плазмохимического синтеза протекает в несколько этапов:

1. Диспергирование исходного раствора в объеме плазмохимического реактора.
2. Перемещение диспергированных капель раствора в теплоносителе (воздухе).
3. Нагревание капли до температуры испарения.
4. Реакция термолиза соли до образования оксида металла.
5. Образование твердых частиц оксида металла с определенной морфологией.

Схема протекания процесса плазмохимического синтеза для получения нанодисперсных порошков оксидов редких и рассеянных металлов представлена на рисунке 1.4.

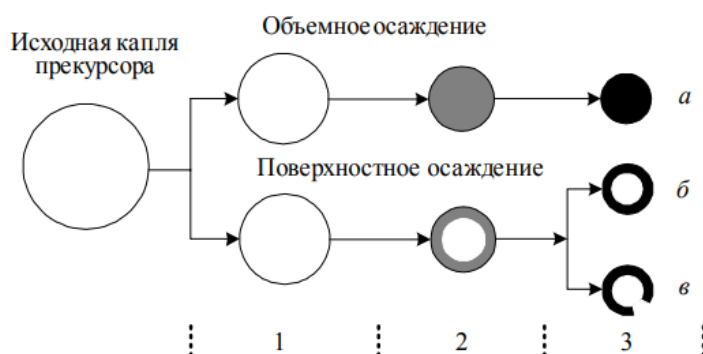


Рис. 1.4 – Схема процесса плазмохимического синтеза: 1 – нагрев и испарение; 2 – осаждение и обезвоживание соли; 3 – термолиз и спекание

Из схемы, представленной на рисунке 3.4, видно, что в процессе плазмохимического синтеза в зависимости от типа осаждения (объемное или поверхностное) можно получить частицы трех типов структур:

1. Сплошные частицы (в случае объемного осаждения).
2. Пустотелые частицы (в случае поверхностного осаждения).
3. Фрагменты полых сфер (в случае поверхностного осаждения).

При поверхностном осаждении, когда пропускная способность перегородки соли металла мала, давление паров разрушает частицу с последующим образованием полидисперсных фрагментов верхнего слоя.

В процессе перемещения капли прекурсора в потоке теплоносителя (воздуха) осуществляется ее нагрев с последующим испарением паров с ее поверхности, и, когда концентрация соли у поверхности капли становится выше, то соль под воздействием диффузии перемещается к центру капли, где при достижении определенного значения концентрации начинается процесс кристаллизации с образованием осадка.

Данный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с методами, описанными ранее (золь-гель, лазерная сублимация, гидротермальный метод, метод Печини), используемыми для получения наночастиц оксида иттрия, а именно: высокая чистота конечного продукта, очень высокая производительность (до 85 кг/ч), дешевизна метода, доступность сырья, малая агрессивность. Но при этом недостатком данного метода является неполная переработка исходного сырья, и в некоторых случаях возможное наличие примесей в конечном продукте [10].

2 Экспериментальная часть

2.1 Описание экспериментальной установки на базе ВЧФ-плазмотрона.

Эксперименты по получению порошковых оксидных композиций из нитратных растворов осуществлялись на плазменном стенде. Данный стенд предназначен для проведения исследований по плазменной обработке различных водно-солевых растворов в условиях воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда в виде дисперсной композиции. Схема плазменного стенда на базе ВЧФплазмотрона представлена на рисунке 2.1.

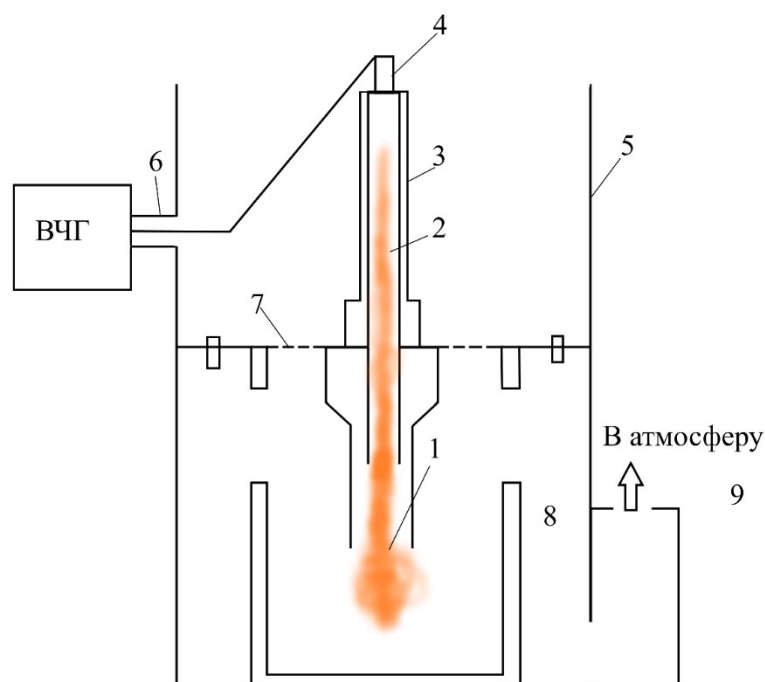


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки

Передача энергии высокой частоты на медный электрод 4 высокочастотного факельного плазмотрона 3, с помощью которого генерировались потоки воздушной плазмы с температурой до 3800 К, через вывод 6 осуществлялась от высокочастотного генератора ВЧГ8–60/13–01, который имеет рабочую частоту 13,56 МГц и номинальную мощность 60 кВт. Разрядная камера ВЧФ-плазмотрона представляет собой трубку из кварцевого стекла диаметром 60 мм и длиной 870 мм [11].

Высоконапорный вытяжной вентилятор 9 осуществляет прокачку воздуха через ВЧФ-плазмотрон 3 и реактор плазменного стенда.

На входе в ВЧФ-плазмотрон установлен шибер с постоянной входной площадью $S_{\text{нг}} = 25 \text{ см}^2$, предназначенный для закрутки поступающего плазмообразующего газа (воздуха) в разрядную камеру,

На входе в реактор установлен шибер 7, который предназначен для закручивания воздушных потоков, поступающих в реактор. Суммарная

входная площадь шибера реактора $S_{\text{шиб}}$ может регулироваться крышкой в интервале от 0 до 1650 см².

2.2 Расчет расхода воздуха через газоход и ВЧФплазмотрон.

Измерение расхода воздуха через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона и газоход после узла «мокрой» очистки отходящих из реактора газов проводилось с помощи трубки Пито и газоанализатора марки «Quintox», с дисплея которого снимались показания.

Трубка Пито измеряет напор f , который создается потоком газа, и значение данного напора отображалось на дисплее газоанализатора. Известна формула:

$$f = \frac{(\rho V^2)}{2} = P_{\Pi} - P_{CT} \quad (2.1)$$

где P_{Π} – полное давление, Па;

P_{CT} – статическое давление, Па;

ρ – плотность воздуха при температуре T , кг/м³;

$f = \frac{(\rho V^2)}{2}$ – напор, создаваемый набегающим потоком воздуха.

Из формулы 4.1 выразим скорость набегающего потока V :

$$V = \left[\frac{2 \cdot (P_{\Pi} - P_{CT})}{\rho} \right]^{0,5} \quad (2.2)$$

Итоговое значение объёмного расхода воздуха через воздуховод находится по формуле:

$$Q = S \cdot V, \quad (2.3)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода.

По результатам полученных данных были построены графики расхода плазмообразующего газа (воздуха) через высокочастотный факельный плазмотрон ($Q_{\text{пт}}$), а также воздушного теплоносителя через газоход ($Q_{\text{гхд}}$) в зависимости от величины входной площади шибера реактора. Влияние входной площади шибера реактора на объемные расходы воздуха через ВЧФ-

плазмотрон и газоход представлено на рисунках 2.2 и 2.3.

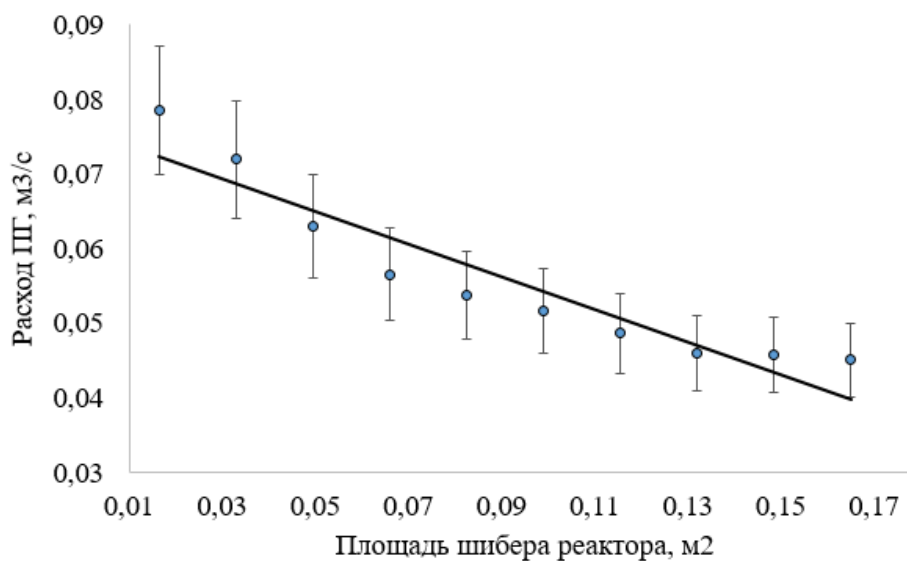


Рисунок 2.2 – Влияние входной площади импеллера реактора на объемный расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон

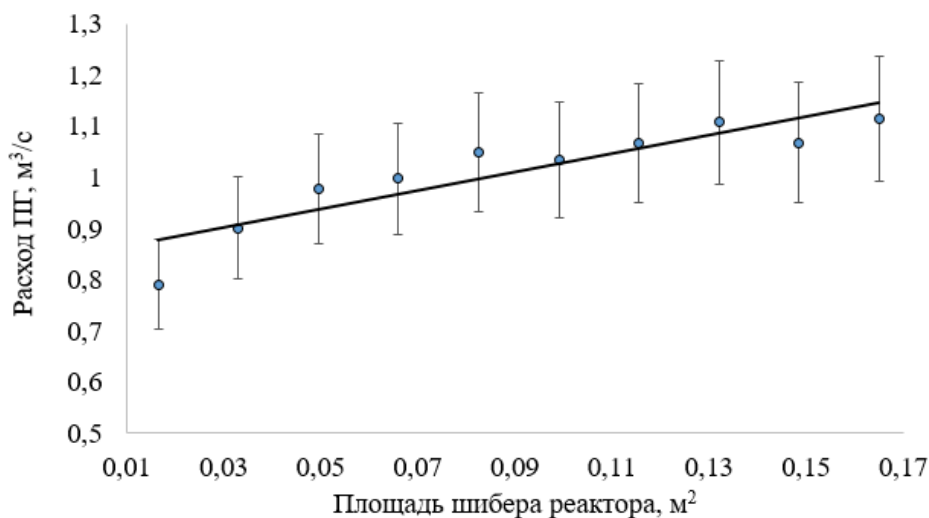


Рисунок 2.3 – Зависимость расхода плазмообразующего газа через газоход от суммарной площади шибера реактора

2.3 Расчет расхода газа через реактор.

Расход газа через реактор определялся косвенно. Для расчета расхода воздуха через реактор использовалось следующее выражение:

$$Q_P = Q_{ГХД} - Q_{ПТР}, \quad (2.4)$$

где Q_P – расход воздушного теплоносителя через реактор, м³/с;
 $Q_{ГХД}$ – расход воздушного теплоносителя через газоход, м³/с;
 $Q_{ПТР}$ – расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон, м³/с.

В результате расчетов получены зависимости расходов воздушного теплоносителя через реактор плазменного стенда в зависимости от входной площади импеллера реактора. С помощью полученных данных был построен график зависимости расхода газа через реактор от площади шибера, который представлен на рисунке 2.4.

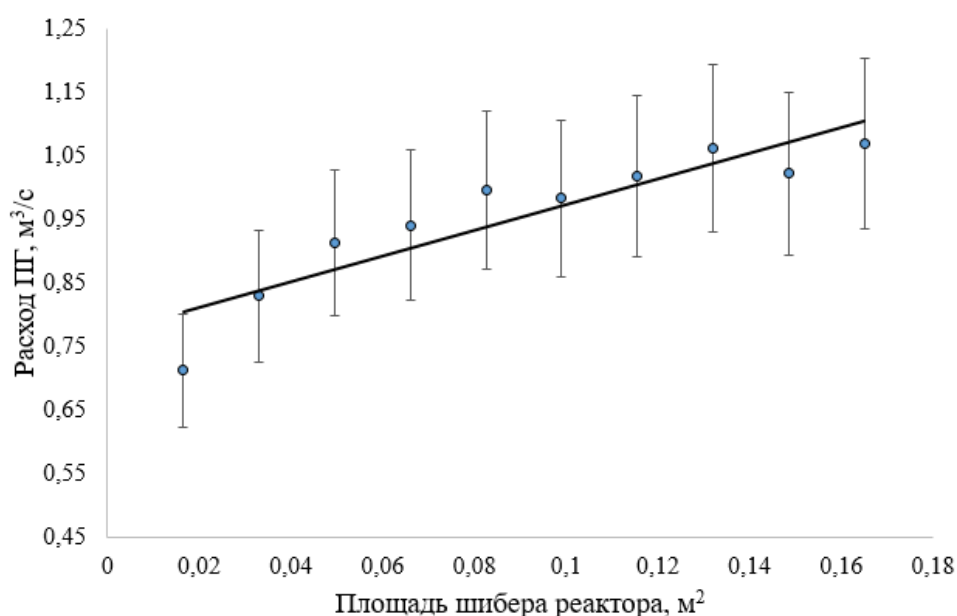


Рисунок 2.4 – Зависимость расхода воздушного теплоносителя через реактор от суммарной площади шибера

Полученная зависимость позволяет за счет изменения шибера входной площади импеллера реактора осуществлять плавную регулировку расхода воздушного теплоносителя через реактор и плазмотрон.

2.4 Исследование режимов работы плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона

Исследования заключались в измерении потерь тепловой мощности на водоохлаждаемых теплонапряженных элементах ВЧ-генератора (анод

генераторной лампы, сеточная индуктивность) и ВЧФ-плазмотрона (электрод, корпус) и определении теплофизических параметров плазменного стенда (КПД, энтальпия и температура воздушной плазменной струи и др.).

Расчетные соотношения представлены ниже.

Электрическая мощность, потребляемая ВЧ генератором от сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \quad (2.5)$$

где I_a – ток анода А;

U_a – напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Тепловая мощность, рассеиваемая на аноде генераторной лампы:

$$P_a = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.6)$$

где m_a – массовый расход воды, кг/с;

Δt_a – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Тепловая мощность, рассеиваемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = m_c \cdot C_p \cdot \Delta t_c \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

где m_c – массовый расход воды, кг/с;

Δt_c – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Тепловая мощность, рассеиваемая на электроде:

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

где $m_{эл}$ – массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{эл}$ – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Тепловая мощность, рассеиваемая на корпусе плазмотрона:

$$P_{кп} = m_{кп} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кп} \cdot 4,186, \text{ кВт}, \quad (2.9)$$

где $m_{кп}$ – массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{кп}$ – изменение температуры охлаждающей воды, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/кг·°С.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{разр} = P_0 - (P_a + P_c + P_{\text{э}}), \text{ кВт} \quad (2.10)$$

Мощность плазменной струи определяется как разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, рассеиваемой на корпусе плазмотрона:

$$P_{стр} = P_{разр} - P_{кп}, \text{ кВт} \quad (2.11)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{Q_{ПГ}}, \text{ кДж/кг}, \quad (2.12)$$

где H_0 – энтальпия газовой смеси при температуре 300 К;

$Q_{ПГ}$ – массовый расход плазмообразующего газа, кг/с.

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазмотрона:

$$\eta_{ПД} = \left(\frac{P_{стр}}{P_{разр}} \right) \cdot 100, \% \quad (2.13)$$

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

$$\eta_{уст} = \left(\frac{P_{стр}}{P_0} \right) \cdot 100, \% \quad (2.14)$$

На рисунке 2.4 показано влияние входной площади импеллера реактора среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном (при анодных токах генератора $I_a=3,0 \text{ А}$; $3,5 \text{ А}$; $4,0 \text{ А}$ и $4,5 \text{ А}$).

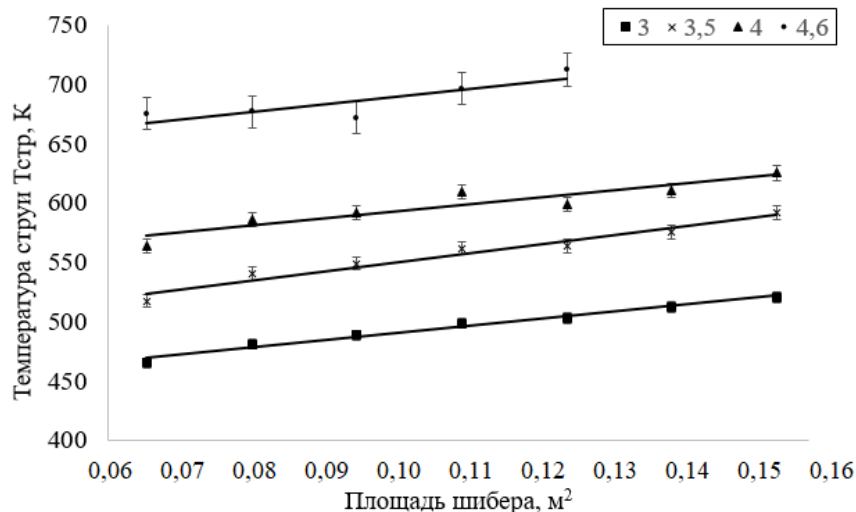


Рисунок 2.4 Зависимость среднемаассовой температуры воздушной плазменной струи ВЧФ-плазмотрона от входной площади шибера при значениях анодного тока 3,0 А, 3,5 А, 4,0 А, 4,5 А

Режим работы плазмотрона подбирался таким образом, чтобы температура пламенной струи была не меньше температуры воспламенения горючего компонента перерабатываемой композиции.

2.5 Плазмохимическая переработка ВСК

Экспериментальные исследования процесса синтеза оксида иттрия в воздушно-плазменном потоке были проведены с использованием нитратных растворов. Для подготовки водно-солевой композиции (ВСК) был использован 6-водный нитрат иттрия $Y(NO_3)_3$, который растворялся в дистиллированной воде до образования насыщенного раствора.

В таблице 3.1 представлен состав ВСК, использованной в экспериментальных исследованиях. Общий объем ВСК составил 5 л.

Таблица 3.1 – Соотношение компонентов перерабатываемой ВСК

$Y(NO_3)_3$, % масс.	H_2O , % масс.
0,49	0,51

Для экспериментов предварительно изготавливалась расходомерная шайба диаметром 5 мм. По расчетам, такая шайба позволяет в час переработать 300 л раствора на плазменном стенде.

Запуск реактора производился воздушной плазменной струей ($T_{\text{стр}} \approx 570 \text{ K}$), которая генерировал ВЧФ-плазмотрон, при анодном токе $I = 3,5 \text{ A}$ и входной площади шибера реактора $S_{\text{имп}} = 1650 \text{ см}^2$.

Раствор подавали и диспергировали с помощью сопла в реактор, где его обрабатывали воздушно-плазменной струей. Капли раствора нагревали, растворитель (воду) выпаривали и соль концентрировали. При достижении определенной температуры, происходил термолитиз соли - образование оксидного соединения (оксида иттрия) из соли (нитрата иттрия).

Полученные в реакторе высокодисперсные оксидные продукты плазменной обработки ВСК направляли на установку «мокрой» очистки (УМО) плазменного стенда, где под действием оборотной технологической воды (объем 165 л) эти продукты резко охлаждались (гасили), и отделялись с образованием водной суспензии, и очищенные выхлопные газы собирались вытяжным вентилятором и выбрасывались в атмосферу.

Сразу после завершения эксперимента полученную суспензию с высокодисперсными продуктами перекачивали в чистый резервуар из нержавеющей стали емкостью 1000 литров. Через несколько часов порошки оседали на дно резервуара в виде осадка, который собирали для анализа.

3 Исследование физико-химических свойств порошков

3.1 Рентгенофазовый анализ

Исследование фазового состава порошков был проведен рентгенофазовый анализ (РФА) полученных образцов. РФА проводился с использованием рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000. На рисунке 5.1 представлена дифрактограмма исследуемого порошка.

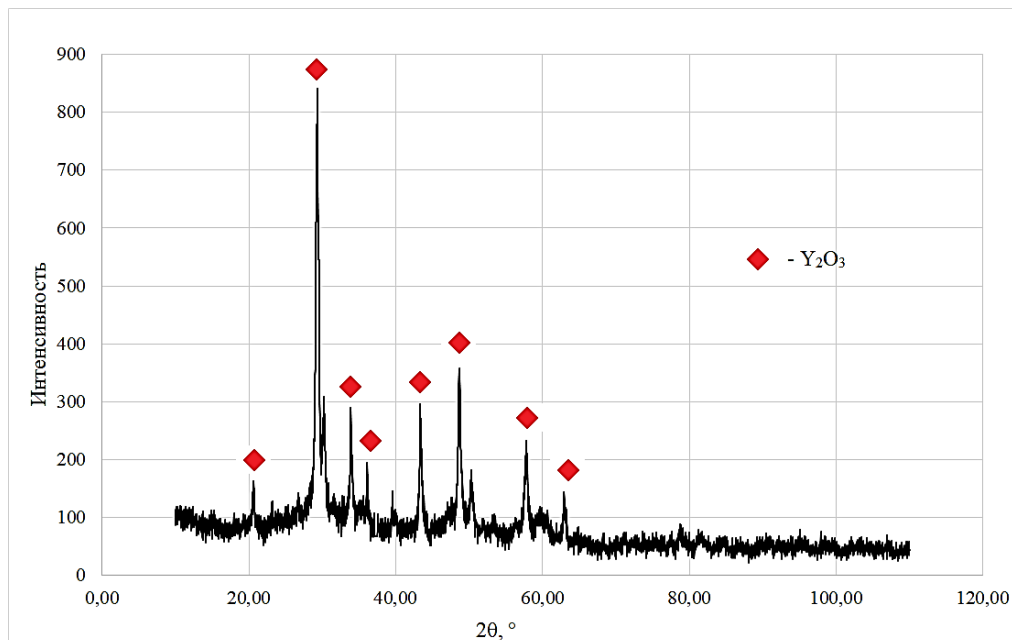


Рисунок 3.1 Результаты исследования фазового состава полученного порошка оксида иттрия

Из результатов анализа фазового состава образца порошка, полученного из ВСК, следует, что основным продуктом данного порошка является Y_2O_3 , находящийся в кубической фазе, о чем свидетельствуют пики на дифрактограмме.

3.2 Сканирующая электронная микроскопия

Для изучения морфологии частиц полученного порошка, а также их размеров, была выполнена сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с использованием микроскопа JSM-7500FA (JEOL, Япония). Этот микроскоп имеет предельное пространственное разрешение микроскопа, равное 1 нм, и способен увеличивать изображение до 1 000 000 раз.

На рисунке 3.2 изображена СЭМ-микрофотография образца полученного порошка оксида иттрия.

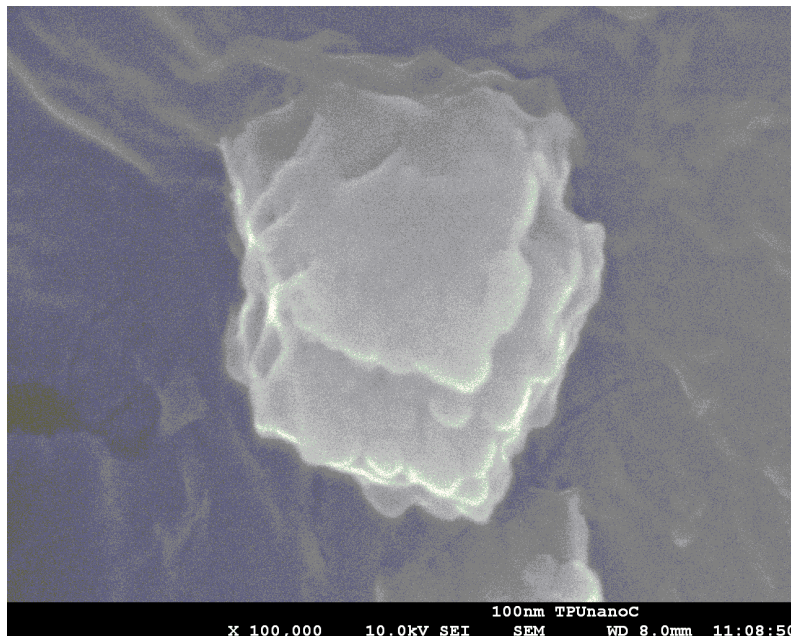


Рисунок 3.2 – Результат СЭМ образца порошка оксида иттрия

Анализ морфологии частиц оксида иттрия по СЭМ-изображению (рис. 6) показывает, что порошок состоит из агломератов, содержащих зерна размером 40-60 нм, что подтверждает принадлежность порошка оксида иттрия, полученного в процессе плазмохимического синтеза, к классу наноразмерных.

3.3 Просвечивающая электронная микроскопия

Для изучения распределения частиц порошка по размерам проводилась просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) с помощью микроскопа CM 30 фирмы Philips, Нидерланды. На рисунке 5.3 изображена ПЭМ-микрофотография образца полученного порошка оксида иттрия.

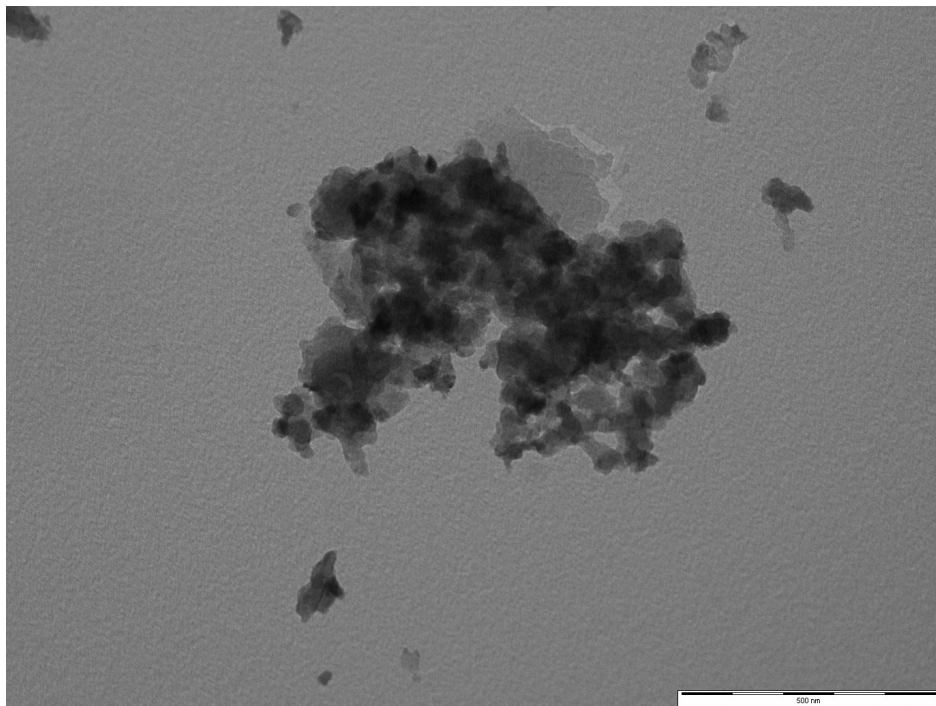


Рисунок 3.3 – ПЭМ изображение порошка оксида иттрия

3.4 Распределение частиц порошка по размерам

После проведения анализов полученного образца порошка оксида иттрия посредством сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии была построена гистограмма для оценки распределения частиц нанопорошка по размерам.

Гистограмма, изображенная на рисунке 5.4 показывает распределение по размерам частиц, полученного нанопорошка оксида иттрия.

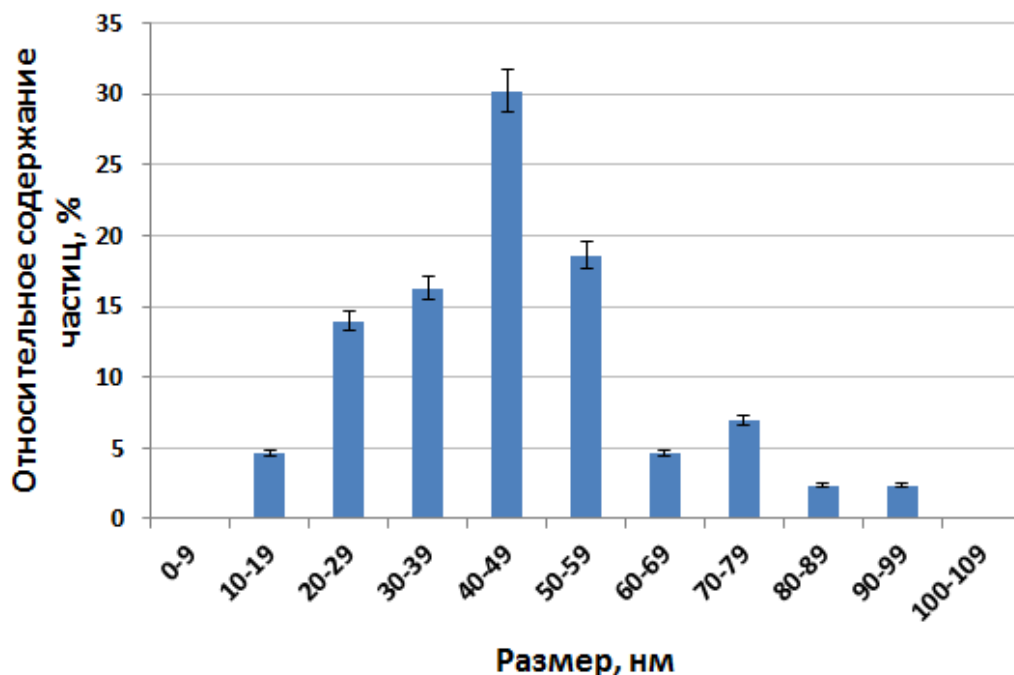


Рисунок 3.4 – Распределение частиц по размерам

Анализируя полученную гистограмму, можно сделать вывод, что полученный порошок оксида иттрия относится к классу нанопорошков, и большая часть частиц лежит в интервале от 20 до 60 нм (пик 40–49 нм).

3.5 БЭТ-анализ

Для проведения БЭТ-анализа удельной поверхности полученных образцов нанопорошка оксида иттрия использовался сорбтометр марки Сорби-М. Значение измеренной величины удельной поверхности составляет 31 м²/г.

С помощью значения величины удельной поверхности $S_{уд}$ нанопорошка можно косвенно определить средний размер его частиц d . Для реальных порошков, составленных из частиц различных размеров и неправильной формы, средний размер частиц d определяется по формуле:

$$d = \frac{6}{S_{уд} \cdot \rho}, \quad (5.1)$$

где ρ – плотность материала нанопорошка.

При расчете использовалось табличное значение плотности оксида иттрия, равное $5,7 \text{ г/см}^3$. Расчет показал, что размер частиц порошка с указанной площадью удельной поверхности составил 42 нм.

Результаты расчетов размеров частиц нанопорошков оксида иттрия удовлетворительно согласуются с результатами анализов сканирующей и просвечивающей микроскопии.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

4.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица 4.1 – Перечень работ

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1 Постановка целей и задач, получение исходных данных	2 НР	НР – 100%
3 Составление и утверждение ТЗ	4 НР, И	5 НР – 100% И – 10%
6 Подбор и изучение материалов по тематике	7 НР, И	8 НР – 30% И – 100%
9 Разработка календарного плана	10 НР, И	11 НР – 100% И – 10%
12 Обсуждение литературы	13 НР, И	14 НР – 30% И – 100%
15 Разработка модели	16 НР, И	17 НР – 100% И – 70%
18 Определение адекватности модели	19 НР, И	20 НР – 100% И – 80%
21 Изучение результатов	22 И	23 И – 100%
24 Оформление расчетно-пояснительной записки	25 И	26 И – 100%
27 Оформление графического материала	28 И	И – 100%
29 Подведение итогов	30 НР, И	31 НР – 60% И – 100%

4.2 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

32 – технико-экономическим;

33 – опытно-статистическим.

34 Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

35 – аналоговый;

36 – экспертный.

37 Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

38 Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (4.1)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (4.2)$$

39 где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

40 t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

41 t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

42 Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

43 Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

44 – инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;

45 – научный руководитель.

46 Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

47 Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рД}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.3)$$

48 где $K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

49 $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

50 Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (4.4)$$

51 где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни ($T_{\text{кал}} = 365$);

52 $T_{\text{вд}}$ – выходные дни ($T_{\text{вд}} = 52$);

53 $T_{\text{пд}}$ – праздничные дни ($T_{\text{пд}} = 15$).

В приложении А1 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 4.1, при использовании формулы 4.2 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для $t_{\text{проб}}$. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_{\text{д}} = 1,1$.

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} \cdot K_{\text{д}}$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{\text{к}} = 1,225$. Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленного в приложении А2.

4.3 Расчет накопления готовности проекта

54 Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

55 – $TP_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость проекта;

56 – TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

57 – TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

58 – TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (5)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (4.5)$$

59 Применительно к таблице 4.2 величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{\text{общ}}$, равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Расчет TP_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных приведен в таблице 4.2.

Таблице 4.2 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Постановка задачи	4,19	4,19
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	7,19	11,38
Подбор и изучение материалов по тематике	13,17	24,55
Разработка календарного плана	4,19	28,74

Таблица 4.2 продолжение

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Подготовка экспериментальной установки	4,19	32,93
Проведение экспериментов	16,17	49,10
Проведение расчетов	22,16	71,26
Обработка результатов	10,18	81,44
Оформление расчетно-пояснительной записки	10,18	91,62
Оформление графического материала	4,19	95,81
Подведение итогов	4,19	100,00

4.4 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- 60 – материалы и покупные изделия;
- 61 – заработная плата;
- 62 – социальный налог;
- 63 – расходы на электроэнергию (без освещения);
- 64 – амортизационные отчисления;
- 65 – командировочные расходы;
- 66 – оплата услуг связи;
- 67 – арендная плата за пользование имуществом;
- 68 – прочие услуги (сторонних организаций);
- 69 – прочие (накладные расходы) расходы.

4.4.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Ацетон	70	2,5 л.	175
Нитрат иттрия ($Y(NO_3)_3$)	5300	2,5 кг.	13250
Итого:			15225

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 15225 \cdot 1,05 = 15986,25$ руб.

4.4.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083} \quad (4.6)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей недели.

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{пр}} = 1,1$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{и}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{доп.зп}} \cdot K_{\text{р}}; \quad (4.7)$$

$$K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Таблица 4.4 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{и}}$	Фон з/п, руб.
НР	33664	1342,10	23	1,699	52445,41
И	15470	616,75	29	1,699	30388,01
Итого:					82833,41

4.4.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3; \quad (4.8)$$

$$C_{\text{соц}} = 82833,41 \cdot 0,3 = 24850,02.$$

4.4.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.9)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (4.10)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_c, \quad (4.11)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 7.

Таблица 4.5 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
70 Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	71 1	60	344,88
72 Персональный компьютер	73 224	0,3	386,3
74 Струйный принтер	75 2	0,1	76 1,15
77 Итого:			78 732,33

4.4.5 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (4.12)$$

где $H_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{\text{об}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, $F_{\text{д}}$ равен:

$$F_{\text{д}} = 298 \cdot 8 = 2384.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

$H_{\text{А}}$ определяется как величина обратная $C_{\text{А}}$, в данном случае это:

$$H_{\text{А}} = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{0,4 \cdot 224 \cdot 60000 \cdot 1}{2384} = 2255.$$

4.4.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (4.13)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (15225 + 82833,41 + 24850,02 + 732,33 + 2255) \cdot 0,1 = 12589,58.$$

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 4.6 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	15255
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	82833,41
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	24850,02

Таблица 4.6 продолжение

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Расходы на электроэнергию	Сэл.об	415,01
Амортизационные отчисления	Сам	2255
Прочие расходы	Спроч	12589,58
Итого:		138198,02

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 138198,02$ руб.

4.4.7 Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2; \quad (4.14)$$

$$G = 138198,02 \cdot 0,2 = 27639,61.$$

4.4.8 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$НДС = (G + C) \cdot 0,2; \quad (4.15)$$

$$НДС = (138198,02 + 27639,61) \cdot 0,2 = 33167,53.$$

4.4.9 Цена разработки

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = C + G + НДС; \quad (4.16)$$

$$C_{\text{НИР}} = 138198,02 + 27639,61 + 33167,53 = 199005,15.$$

4.5 Оценка экономической эффективности проекта

Так как плазмохимический синтез наноразмерных порошков оксида иттрия в плазме ВЧФ–разряда носит исключительно исследовательский характер, в данном случае оценка экономической эффективности невозможна.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [11].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [11].

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы [11].

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требуют использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин [11].

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства [11].

Рабочие, служащие, инженерно-технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно-исследовательская работа проводилась на кафедре технической физики. Исследования велись на ПЭВМ, а также использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В таблице 5.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Расчёт данных на ПЭВМ. Работа на плазменной установке.	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Пожарная опасность	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы» СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность
Работа с химическими реактивами	Химические вредные вещества	—	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

– Физические:

1. температура и влажность воздуха;
2. шум;
3. статическое электричество;
4. электромагнитное поле низкой частоты;
5. освещённость;
6. наличие излучения.

– Химические: вредные вещества (оксиды азота и углерода).

– Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий

порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 5.1.

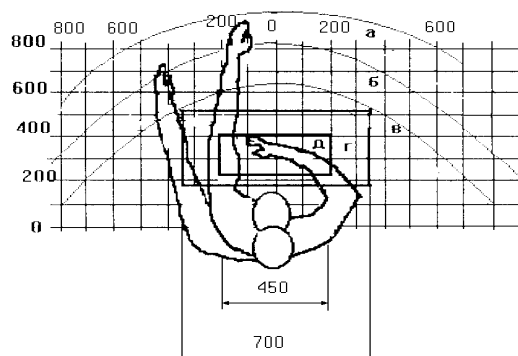


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не

менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

1. по высоте +3 см;
2. по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
3. в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают

активность человека [10].

5.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [11] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций (таб. 5.3).

В таблице 5.3 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности.

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

Вентиляция — процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. Система вентиляции обеспечивает отток и приток воздуха в помещении. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д. Система вентиляции на плазматроне осуществляется с помощью специальных движимых лопастей. Скорость потока воздуха через газоход (вентиляцию) равна 18,76 м/с.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность

– 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Согласно [12] уровень шума компрессора не превышает 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [13]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ПЭВМ. Уровень шума ПЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [13].

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Согласно [164, предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения.

Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [11] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- 1 в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- 2 в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

1. в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
2. в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

1. увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
2. применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [13] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.3 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно

превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

1. при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
2. при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
3. при прикосновении к полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
4. при коротком замыкании.

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

1. появление на теле ожогов разных форм;
2. перегревание кровеносных сосудов;
3. нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

1. электролитическое действие: расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма.

2. биологическое действие:
3. нарушение нормальной работы мышечной системы;
4. возникновение непроизвольных судорожных сокращений мышц;
5. нарушению нормальной работы органов дыхания и сердца, в том числе абсолютное прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

1. электрические травмы – местное повреждение тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как

электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения;

2. электрические знаки – проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;
3. металлизация кожи – возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок;
4. электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами;
5. механические повреждения – проявляются под действием тока, произвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

1. отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
2. вывешивание плакатов, указывающих место работы;
3. заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
4. покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
5. недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);
6. применение средств защиты:

Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [16]:

1. оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
2. изолирующие устройства и покрытия;
3. устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
4. устройства дистанционного управления;
5. предохранительные устройства и др.

При выполнении данной ВКР применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 60 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [16], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение

лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

1. работа с открытой электроаппаратурой;
2. короткие замыкания в блоке питания;
3. несоблюдение правил пожарной безопасности;
4. наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

1. исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
2. правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
3. правильное содержание зданий и территорий (исключение образования

источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

4. обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
5. издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
6. соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
7. правильное размещение оборудования;
8. своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем. При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112.

Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Выводы

1. Проведен литературный обзор существующих методов получения нанопорошков оксидов металлов, показана перспективность плазмохимического метода.
2. Подготовлен к работе плазмохимический стенд (определены расходы воздушного теплоносителя через ВЧФ-плазмотрон, газоход и реактор, подобрана расходомерная шайба для контроля расхода раствора).
3. Подготовлен прекурсор на основе нитрата иттрия.
4. Проведены экспериментальные исследования синтеза порошка оксида иттрия в воздушной плазме.
5. Проведен анализ физико-химических свойств полученных порошков (размер и морфология частиц, площадь удельной поверхности, фазовый состав), который показал, что полученный порошок оксида иттрия относится к классу нанодисперсных и имеет средний размер частиц 45 нм и площадь удельной поверхности 31 м²/г.

Заключение

Результаты данной работы подтверждают возможность использования плазмохимического синтеза для получения нанодисперсных порошков оксидов редких и рассеянных металлов, и, в частности оксида иттрия. Недостатки существующих методов получения данных порошков обладают большим рядом недостатков, включая сложность проведения процесса, высокую стоимость оборудования и сопутствующих материалов. В связи с этим возникает потребность более тщательного изучения метода плазмохимического синтеза нанопорошков в условиях воздушной плазмы ВЧФразряда.

Полученные порошки нанодисперсного оксида иттрия полностью соответствуют требованиям, поскольку имеют средний размер менее 100 нм, что относит их к классу нанопорошков, а также не имеют «вредных» примесей, которые бы нарушали чистоту получаемого продукта.

Список публикаций

1. Ушаков И. А., Вавилов А. В., Головков Н. И. Разделение катионов магния и стронция под действием внешнего периодического электрического поля // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов IV Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 30 Октября-3 Ноября 2017. - Томск: Графика, 2017 - С. 76
2. Головков Н. И., Ушаков И. А., Тимченко С. Н. Изучение возможности разделение изомеров органических кислот в внешнем периодическом электрическом поле // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов IV Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 30 Октября-3 Ноября 2017. - Томск: Графика, 2017 - С. 77
3. Головков Н. И., Алюков Е. С. Моделирование процесса плазмохимического синтеза оксидных композиций «PuO₂-UO₂-BeO» // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов V Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 19-23 Ноября 2018. - Томск: Графика, 2018 - С. 64
4. Головков Н. И., Алюков Е. С. Исследование порошков оксидов редких и рассеянных элементов, синтезированных в условиях воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов V Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 19-23 Ноября 2018. - Томск: Графика, 2018 - С. 54
5. Butov, V., Timchenko, S., Ushakov, I., Golovkov, N., Poberezhnikov, A. Hydraulic and separation characteristics of an industrial gas centrifuge calculated with neural networks / AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938, Article number 020019. – p. 1–5.

6. Головков Н. И., Новоселов И. Ю. Синтез оксида иттрия в высокочастотной плазме факельного разряда // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых, Томск, 20-23 Мая 2019. - Томск: ТПУ, 2019 - С. 414-415
7. Головков Н. И., Тихонов А. Е., Новоселов И. Ю. Исследование порошка оксида иттрия, синтезированного в плазме из азотнокислого раствора с добавлением органического компонента // VIII Молодежная конференция ИОХ РАН: сборник тезисов докладов, Москва, 22-23 Мая 2019. - Москва: МАКС Пресс, 2019 - С. 183
8. Hongda Li, Sergey Sosnovskiy, Mishik Kazaryan⁴, Victor Sachkov, Almas Abdiyanov, Nikita Golovkov Separation of chemical elements from liquid medium with the electrochemical processes on asymmetric current / AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2101, Article number 020014. – p. 1–6.
9. Karengin, A., Karengin, A., Novoselov, I., Golovkov, N. Model of reactor for plasma treatment of dispersed water-organic nitrate solutions of metals / AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2101, Article number 020016. – p. 1–6.

Список использованных источников

1. Смирнов, В.М. Структурирование на наноуровне - путь к конструированию новых твердых веществ и материалов / В.М. Смирнов// Журнал общей химии.– 2002. – Вып. 72. – №4. – С. 633–650
2. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии: учебник / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2007. – 416 с.
3. Dupont, A. Size and morphology control of Y_2O_3 nanopowders via a sol-gel route / A. Dupont, C. Parent, B. Le Garrec, J.M. Meintz // J. Solid State Chemistry. – 2008. – V. 171 – P. 152–160.
4. Yuanzhou, X. Intercalation of Ethylene Glycol into Yttrium Hydroxide Layered Materials / X. Yuanzhou, R.J. Davis // Inorg. Chem., – 2010. – N 49. – P. 3888–3895.
5. Yttrium and rare earth compounds catalyzed lactone polymerization/ Stephan J., Neville E. // United States Patent № 5028667 – Application Number 07/414964 – Publication date 07.02.1991.
6. Osipov, V.V. Production of nanopowders of oxides by means of fiber and pulseperiodical CO_2 lasers / V.V. Osipov, V.V. Platonov, V.V. Lisenkov, A.V. Podkin and E.E. Zakharova // Physica Status Solidi (c). – 2013. – V. 10, – №6 – P. 926–932
7. Lenin, R. Yttrium (III) Chloride: A simple and an efficient catalyst for the synthesis of 1, 4-dihydropyridines (Hantzsch pyridines) / R. Lenin, R. M. Raju, Y. Venkateswarlu // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2015 – V. 6. – P. 1788–1791.
8. Li, N. Controlling the morphology of yttrium oxide through different precursors synthesized by hydrothermal method / N. Li, K. Yanagisawa // Journal of Solid State Chemistry. – 2008. – N 181. – P. 1738–1743.
9. Yongiu, L. Preparation and characterization of porous yttrium oxide powders with high specific surface area / L. Yongiu, L. Xiaoyun, W. Yizheng // Journal of rare earths. – 2006. – V. 24 – P. 34–38.













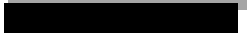





10. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. — М.: Физматлит, 2003. — 760 с
11. Организация, нормирование и оплата труда: Учебное пособие / А. С. Головачев, Н. С. Березина, Н. Ч. Бокун и др.; Под общ. Ред. А. С. Головачева. — М.: Новое знание, 2004. — 496 с. /Глава 5
12. Моссэ А.Л., Печковский В.В. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Минск, Наука и техника, 1973. — 216 с.
13. Эксплуатационная документация для компрессора AIRTECH 220/25W1.
14. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"
15. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13-01, 2000 г.
16. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.

Приложение А

Таблица А1 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,40	1,54	–	1,89	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,40	2,64	0,26	3,23	0,32
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	4	5	4,40	1,45	4,84	1,78	5,93
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,40	1,54	0,15	1,89	0,19
Подготовка экспериментальной установки	НР, И	1	2	1,40	0,46	1,54	0,57	1,89
Проведение экспериментов	НР, И	5	6	5,40	5,94	4,16	7,28	5,09
Проведение расчетов	НР, И	7	8	7,40	8,14	6,51	9,97	7,98
Обработка результатов	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление графического материала	И	1	2	1,40	–	1,54	–	1,89
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,40	0,92	1,54	1,13	1,89
Итого:				33,40	22,64	28,03	27,73	34,33

Таблица А2 – Линейный график работы

Этап	НР	И	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
1	1,89	0,00												
2	3,23	0,32	 											
3	1,78	5,93		 										
4	1,89	0,19				 								
5	0,57	1,89				 								
6	7,28	5,09					 							
7	9,97	7,98						 						
8	0,00	4,58												
9	0,00	4,58												
10	0,00	1,89												
11	1,13	1,89											 	

НР – ;

И– 